

Scientific journal  
**PHYSICAL AND MATHEMATICAL EDUCATION**  
 Has been issued since 2013.

Науковий журнал  
**ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА**  
 Видається з 2013.

ISSN 2413-158X (online)  
 ISSN 2413-1571 (print)



<http://fmo-journal.fizmatsspu.sumy.ua/>

*Салтикова А.І., Завражна О.М., Шкурдода Ю.О. Розробка та методичний супровід лабораторної роботи з квантової фізики по визначенню довжини хвилі де Бройля електрона. Фізико-математична освіта. 2019. Випуск 1(19). С. 189-195.*

*Saltykova A., Zavrazhna O., Shkurdoda Yu. Development And Methodological Support Of Laboratory Work On Quantum Physics For The Determination Of The De Broglie Electron Wavelength. Physical and Mathematical Education. 2019. Issue 1(19). P. 189-195.*

DOI 10.31110/2413-1571-2019-019-1-030  
 УДК 378.147+53

**А.І. Салтикова**

Сумський державний педагогічний університет імені А.С.Макаренка, Україна  
 0809saltykova@gmail.com  
 ORCID: 0000-0001-8010-267X

**О.М. Завражна**

Сумський державний педагогічний університет імені А.С.Макаренка, Україна  
 zavragna@gmail.com  
 ORCID: 0000-0002-7716-7138

**Ю.О. Шкурдода**

Сумський державний університет, Україна  
 yu.shkurdoda@gmail.com  
 ORCID: 0000-0002-8180-4574

## РОЗРОБКА ТА МЕТОДИЧНИЙ СУПРОВІД ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ З КВАНТОВОЇ ФІЗИКИ ПО ВИЗНАЧЕННЮ ДОВЖИНИ ХВИЛІ ДЕ БРОЙЛЯ ЕЛЕКТРОНА

### АНОТАЦІЯ

**Формулювання проблеми.** Невід'ємною складовою курсу фізики у закладах вищої освіти є лабораторний практикум. На сьогодні актуальною є проблема його модернізації. Особливо це стосується структури лабораторного практикуму, змісту та матеріального забезпечення. При розробці та впровадженні у навчальний процес нових лабораторних робіт слід реалізовувати особистісно-орієнтований, діяльнісний та компетентнісний підходи. У статті пропонується розробка та методичний супровід лабораторної роботи з квантової фізики «Визначення довжини хвилі де Бройля електронів» з урахуванням цих підходів.

**Матеріали та методи.** Під час виконання лабораторної роботи студенти впевнюються в корпускулярно-хвильовому дуалізмі мікрочастинок та дослідно визначають довжину хвилі де Бройля електронів. Акцент було зроблено на таку організацію навчання, коли студент активно включений в процес, який передбачає аналіз запропонованих завдань, самостійний пошук розв'язку, узагальнення висновків.

**Результати.** При виконанні етапів лабораторної роботи у студентів формується ряд загальних та професійних компетентностей: здатність працювати в команді; здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел; здатність застосовувати набуті знання в практичних ситуаціях; здатність використовувати систематизовані теоретичні та практичні знання з фізики, математики при вирішенні професійних завдань; володіння математичним апаратом фізики.

**Висновки.** Лабораторну роботу можна включити в лабораторний практикум з квантової фізики. Крім цього її можна запропонувати як домашнє завдання на практичному занятті з теми «Корпускулярно-хвильовий дуалізм мікрочастинок. Гіпотеза де Бройля» або як елемент самостійної роботи студентів. У цьому випадку студенти отримують фотокопії електронограм алюмінію та інформацію щодо характеристик електронографа, на якому вони були отримані та виконують роботу самостійно за інструкцією. Метод контролю за виконанням обирає сам викладач.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** фізика, лабораторна робота, студенти, довжина хвилі де Бройля, електрон.

### ВСТУП

**Постановка проблеми.** Фізика як наука швидко розвивається, тому як навчальна дисципліна у ЗВО вона весь час потребує модернізації структури, змісту на методичного забезпечення. Направленість навчання на отримання студентами низки компетентностей, які необхідні майбутнім фахівцям для здійснення ефективної професійної діяльності та самоосвіти протягом життя та відповідають заявленій освітньо-професійній програмі майбутнього фахівця також змінює

підходи до навчання (*Zavrazhna&Odnodvoretz&Pasko&Saltykova, 2017*). Невід'ємним компонентом навчання фізики у ЗВО є лабораторний практикум. Під час його виконання студенти набувають вміння користуватися фізичними приладами, самостійно проводити експерименти та робити відповідні обчислення. Отже студенти на практиці мають змогу перевірити дію фізичних теорій та законів, що сприяє більш глибокому розумінню теоретичного матеріалу.

На жаль, на сьогодні існує проблема матеріального забезпечення лабораторного практикуму. Тому, для підвищення продуктивності навчального процесу, часто ідуть шляхом використання віртуальних лабораторних робіт, які надають можливості вивчати комп'ютерні моделі фізичних процесів. Це стосується великої кількості процесів, механізми роботи яких відомі, але безпосереднє їх спостереження неможливе в реальному часі або ж експеримент дуже громіздкий і дорогий. Зокрема, це зачіпає більшості процесів атомної і ядерної фізики, фізики напівпровідників, які відбуваються на мікроскопічному рівні (*Салтикова&Шкурдода, 2012*).

Ми не заперечуємо можливість широкого використання віртуальних лабораторних робіт, але такі роботи не можуть замінити експеримент, поставлений в лабораторних умовах. Вважаємо це непотрібним і навіть шкідливим, бо фізика є наукою експериментальною, її вивчення є неможливим без проведення повноцінних лабораторних робіт. При розробці та впровадженні у навчальний процес лабораторних робіт слід реалізовувати особистісно орієнтований, діяльнісний та компетентнісний підходи, що забезпечить більшу ефективність навчання.

**Аналіз актуальних досліджень.** Проблеми змісту і методики підготовки студентів до використання в професійній діяльності фізичного експерименту досліджені в наукових роботах Н. В. Подопрігори (*Подопрігора, 2004*), О. Слободяник, І. В. Сальник, М. Хомутенко, О. В. Шевчук та інших.

Дослідження, пов'язані з розвитком творчих здібностей проводили Ю. М. Галатюк, А. А. Давиденко, В. М. Двораківський, І. В. Корсун, В. Д. Сиротюк, В. І. Савченко.

Значний вклад в методику проведення фізичного експерименту внесли Є. В. Коршак (*Величко&Коршак, 1998*), В. М. Барановський, С. Ю. Василівський (*Барановський&Василівський, 2008*), М. І. Шут, Г. П. Грищенко, В. Ф. Савченко.

Такі вчені як П. С. Атаманчук (*Атаманчук, 1997*), В. П. Вовкотруб, О. М. Желюк (*Вовкотруб, 2003; Желюк, 1996*) вивчали питання вдосконалення засобів та способів експериментальної діяльності майбутнього вчителя фізики.

Однією з тем атомної фізики, яка є важкою для сприйняття студентами є усвідомлення змісту корпускулярно-хвильового дуалізму мікрочастинок, тому **метою статті** є розробка лабораторної роботи «Визначення довжини хвилі де Бройля електрона» та методичних рекомендації щодо її виконання.

## МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Аналіз і узагальнення наукової, навчальної та методичної літератури; узагальнення власного досвіду роботи викладачів у ЗВО.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Пропонуємо лабораторну роботу «Визначення довжини хвилі де Бройля електрона», метою якої для студентів є доведення корпускулярно-хвильових властивостей мікрочастинок та дослідне визначення довжини хвилі де Бройля електронів. Для цього у якості обладнання використовується електронграф, зразки тонких плівок алюмінію та фотознімки отриманих від них електронграм.

Теоретичні відомості до роботи включають таку інформацію (*Кучерук&Горбачук, 2006*).

У 1924 р. французький вчений Луї де Бройль висловив припущення, що мікрочастинки поряд з корпускулярними мають і хвильові властивості, а відповідну їм довжину хвилі  $\lambda_B$  можна визначити за формулою:

$$\lambda_B = \frac{h}{mv}, \quad (1)$$

де  $m$  – маса частинки,  $v$  – швидкість її руху,  $\lambda_B$  – довжина хвилі де Бройля.

Гіпотеза про корпускулярно-хвильовий дуалізм частинок матерії одержала експериментальне підтвердження у дослідках К. Девіссона і Л. Джермера (1927 р.), які вивчали розсіювання електронів на кристалічних і полікристалічних структурах. Ними було виявлено, що пучок електронів при розсіюванні на природній дифракційній ґратці, у якості якої використовувався монокристал нікелю, дає чітку дифракційну картину. Отже, було зроблено висновок, що пояснити спостережений розподіл інтенсивності потоку електронів можна лише за умови заміни моделі електрон-частинка на модель електрон-хвиля.

Д. Томсон і П. Тартаковський (1927р.) спостерігали дифракційну картину при проходженні потоку електронів крізь металеву фольгу. Отримана картина – електронograma і вона аналогічна рентгенограмам, які були одержані при опроміненні фольги рентгенівськими променями.

Рентгенівське випромінювання – це потік електромагнітних хвиль, довжина яких порівняна з розмірами атома ( $\lambda \leq 10^{-9}$  м). Монокристалічні структури для таких довжин хвиль відіграють роль дифракційних ґраток. Тому наслідки розсіювання рентгенівських променів на кристалах треба розглядати з урахуванням явища інтерференції хвиль. Саме до таких висновків в свій час прийшли вчені батько і син Бреґи. Вони з'ясували, що утворення максимумів інтенсивності в розсіяному на кристалі рентгенівському випромінюванні можливе при умові, що різниця ходу когерентних хвиль кратна довжині хвилі. розглянемо цю умову. На рис. 1 точками зображені вузли кристалічної ґратки і виділені дві групи площин (таких площин в кристалі може бути виділено багато) паралельних напрямкам  $00_1$  і  $PP_1$ . Нехай рентгенівські промені падають на виділені площини під кутами ковзання  $\Theta_1$  і  $\Theta_2$ . Промені, відбиті від паралельних площин в напрямках  $1,2,3,\dots$   $1',2',3'$  і т.д., когерентні і при накладанні на екрані можуть підсилювати чи послаблювати один одного.

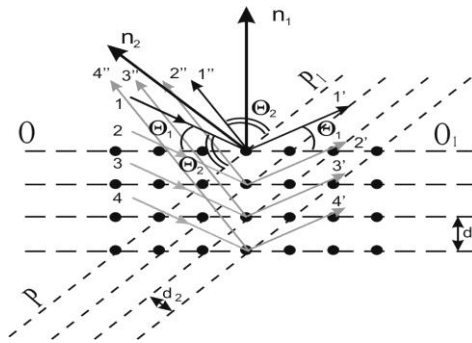


Рис. 1. Хід рентгенівських променів при попаданні на вузли кристалічної ґратки

Вчені встановили, що утворення максимумів при накладанні відбитих променів є можливим, коли має місце рівність

$$2d \sin \Theta = n\lambda, \quad (2)$$

де  $\Theta$  – кут ковзання і відбивання променів,  $d$  – міжплощинна відстань,  $\lambda$  – довжина хвилі рентгенівського випромінювання,  $n$  – порядок інтерференційного максимуму.

Аналогічні міркування будуть у випадку заміни рентгенівських променів на потік електронів, але довжина хвилі у цьому випадку буде довжиною хвилі де Бройля.

На шляху електронного потоку, поміщують полікристалічний зразок певної речовини. Такий зразок складається з хаотично орієнтованих монокристалів. Серед великої кількості різноорієнтованих монокристалів в полікристалічному зразку, знайдуться такі, що для відбитих від них променів буде виконуватися умова Брегів (рис. 2). Таких кристалів в зразку багато і тому інтерференційні максимуми на екрані розміщені по колу.

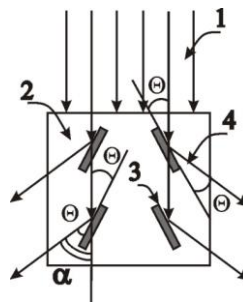


Рис. 2. Хід відбитих променів від монокристалів

1 – потік електронів; 2 – полікристалічний зразок; 3 – монокристали в зразку,  $\Theta$  – кут падіння;  $\alpha$  – кут розсіювання

Кут розсіювання потоку електронів на кристалі задовольняє умові  $\alpha = 2\Theta$ , тому кут  $\Theta$  можна визначити з геометрії досліду (рис. 3)

$$\tan \alpha = \frac{D}{2L} = \tan 2\Theta \quad (3)$$

Знайшовши кут  $\Theta$ , за рівнянням (2) можна розрахувати довжину хвилі  $\lambda$  де Бройля електронів або міжплощинну віддаль  $d$ .

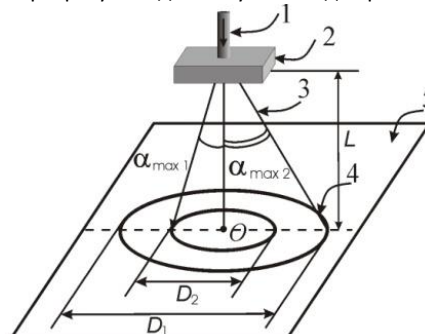


Рис. 3. Геометрія досліду

1 – електронний потік; 2 – зразок; 3 – розсіяний електронний потік; 4 – максимуми інтенсивності (кілець); 5 – екран (фотопластинка);  $D_1, D_2$  – радіуси кілець максимумів;  $L$  – віддаль від зразка до екрану.

Характерно, що всі описані досліди по дифракції електронів спостерігаються й у тому випадку, коли електрони пролітають через експериментальну установку "поодиночі". Цього можна домогтися при дуже малій інтенсивності потоку електронів, коли середній час прольоту електрона до фотопластинки менший, ніж середній час між випусканням двох

наступних електронів. Послідовне попадання на фотопластинку все більшої й більшої кількості поодиноких електронів поступово приводить до виникнення чіткої дифракційної картини. Описані результати означають, що в даному експерименті електрони, залишаючись частинками, виявляють також хвильові властивості, причому ці хвильові властивості притаманні кожному електрону окремо, а не тільки системі з великого числа частин.

Проведені дослідження на інших мікрочастинках, атомах і молекулах показують, що для них також характерні хвильові властивості.

У макроскопічних тіл ці властивості не проявляються. Так, у тіла масою 1 г, яке летить із швидкістю 10 м/с довжина хвилі де Бройля, у відповідності з формулою (1), дорівнює

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34}}{10^{-3} \cdot 10} = 6,62 \cdot 10^{-32} \text{ (м)}.$$

Жоден прилад не зможе зареєструвати таку коротку хвилю (на сьогодні реєструють довжини порядку  $10^{-18}$  м).

У мікрочастинок (електрон, протон, нейтрон та ін.) маса порівняна з атомною одиницею маси, а тому довжина хвилі де Бройля при невеликих швидкостях може бути досить великою. Так, у електрона з кінетичною енергією 1 еВ довжина хвилі дорівнює  $13,3 \cdot 10^{-10}$  м. Зі збільшенням швидкості мікрочастинки довжина хвилі де Бройля зменшується, а при дуже великих швидкостях мікрочастинка поводить себе як класична частинка.

Гіпотеза де Бройля і відкриття хвильових властивостей електронів стали поштовхом для розвитку електронної оптики: електронної мікроскопії, електроннографії.

У роботі для дослідження хвильових властивостей електронів використовують електроннограф. Інформація по ньому дається описово.

Електроннограф це вакуумний прилад для дослідження атомної будови твердих тіл і газових молекул за допомогою дифракції електронів, його схема аналогічна схемі електронних мікроскопів. В основному вузлі електроннографа (колона) електрони, що випускаються катодом, — розжареною вольфрамовою ниткою, розганяються високою напругою (20-1000 кВ — швидкі електрони). За допомогою діафрагм і магнітних лінз формується вузький електронний пучок, який прямує в камеру для зразків, де встановлюють досліджувану тонку плівку речовини. Електрони, які пройшли крізь зразок, потрапляють у фотокамеру і на фотопластинці (або екрані) створюють дифракційну картину (електроннограму), яку можна спостерігати як візуально, так і за допомогою вмонтованого в електроннограф мікроскопа. Пристрій електричного живлення забезпечує зміну прискорюючої напруги по рівнях (наприклад, 25, 50, 75 і 100 кВ). Роздільна здатність приладу складає тисячні долі Å і залежить від енергії електронів, площі перерізу електронного пучка і відстані від зразка до екрану, яка в сучасних електроннографах може змінюватися в межах 200—700 мм. Відомий зразок полікристала розміщується на шляху руху електронів, які мають кінетичну енергію  $T = eU_a$  ( $U_a$  — анодна напруга). На екрані спостерігаються концентричні кола максимумів інтенсивності розсіяного потоку (рис. 3, рис. 4).

Реалізуючи діяльнісний підхід ми пропонуємо студентам самостійно розібратися зі схемою електроннографа.

Знаючи характеристики ґратки монокристала (міжплощинну відстань  $d$ ), можна за дифракційною картиною розрахувати довжину хвилі  $\lambda_\Theta$  електрона за формулою Брегів:

$$\lambda_\Theta = \frac{2d \sin \Theta}{n} \quad (4)$$

За гіпотезою де Бройля довжина хвилі електрона визначається його імпульсом  $mv$ . Імпульс електрона в нашому досліді задається величиною анодної напруги  $U_a$ , а саме

$$mv = \sqrt{2meU_a} \quad (5)$$

Знаючи анодну напругу  $U_a$  можна розрахувати довжину хвилі де Бройля електрона за формулою

$$\lambda_B = \frac{h}{\sqrt{2meU_a}}. \quad (6)$$

З урахуванням релятивістських ефектів формула де Бройля більш складна (більш точна):

$$\lambda'_B = \frac{h}{mV} = \frac{hc}{\sqrt{eU_a(eU_a + 2m_e c^2)}} \quad (7)$$

Для отримання електроннограм у роботі використовується тонка плівка  $Al^{27}$ , для якої міжплощинні відстані  $d$  наводяться у довідникових таблицях, де значення  $d$  пов'язане з індексами Міллера ( $hkl$ ). Тому в рівняння Брегів підставляють значення  $d$  з певними індексами -  $d_{hkl}$ . Для розрахунків  $\lambda$  за допомогою електроннограм використовуємо формулу (2) у вигляді

$$\lambda_\Theta = 2d_{hkl} \sin \Theta, \quad (8)$$

для електроннограм  $n = 1$ .

Враховуючи малі значення кута  $\Theta$  (декілька градусів), в формулі (3) можна прийняти, що  $\sin 2\Theta \approx \sin \Theta \approx 2\Theta$ . За таким наближенням

$$\sin \Theta \approx \frac{D}{4L} \quad (9)$$

Остаточні розрахунки  $\lambda_\Theta$  проводимо за формулою:

$$\lambda_\Theta = d_{hkl} \frac{D}{2L} \quad (10)$$

На рис. 4 подана електроннограма  $Al$  (індекси Міллера вказані для площин відбиття, від яких утворюються максимуми) для певної анодної напруги  $U_a$ . Для кожного кільця - максимумів вказані індекси Міллера площин, на яких вони виникли. За відповідними таблицями знаходимо значення міжплощинної відстані  $d$  і проводимо розрахунки  $\lambda_\Theta$  за

формулою (10) для трьох напруг  $U_0$  і чотирьох кілець. Остаточню отримаємо три середніх значення довжини хвилі де Бройля  $\tilde{\lambda}_0$ .

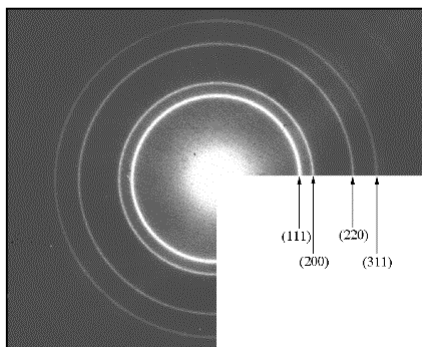


Рис. 4. Електроннограма від плівки Al

За формулами (6) і (7) розраховуємо  $\lambda_B$  для кожного значення анодної напруги і порівнюємо знайдені  $\lambda_0$  і  $\lambda_B$  для трьох напруг  $U_0$ .

Перед початком роботи студенти повинні ознайомитися з порядком її виконання:

- 1) уважно розглянути електроннограми алюмінію, одержані при різних прискорюючих напругах: 50 кВ, 75 кВ, 100 кВ. Зробити висновок про зміну картини дифракції при зміні анодної напруги  $U_0$ ;
- 2) заміряти діаметри кілець на фотоелектроннограмі, занести значення діаметрів до Таблиці 1. Врахувати можливі похибки вимірювань;
- 3) розрахувати експериментальне значення довжини хвилі де Бройля  $\lambda_0$  за формулою (10), значення  $\lambda_0$  занести до Таблиці 1;
- 4) за формулами (6), (7) розрахувати довжину хвилі де Бройля  $\lambda_B$  для різних значень анодної напруги та врахувати можливі похибки;
- 5) порівняти експериментально визначене значення довжини хвилі де Бройля та теоретично розраховані; зробити висновок щодо необхідності врахування релятивістських ефектів при визначенні довжини хвилі де Бройля при різних значеннях прискорюючої напруги.

Звіт про роботу включає заповнення таблиці 1 вимірювань та розрахунків, отриманих в роботі та зроблені висновки.

Таблиця 1

До звіту по роботі

N	$U_0=50\text{кВ}$				$U_0=75\text{кВ}$				$U_0=100\text{кВ}$			
	D	$\lambda_0$	$\lambda_B$	$\lambda'_B$	D	$\lambda_0$	$\lambda_B$	$\lambda'_B$	D	$\lambda_0$	$\lambda_B$	$\lambda'_B$
d <sub>111</sub>												
d <sub>200</sub>												
d <sub>220</sub>												
d <sub>311</sub>												
	$\lambda_{\text{дсер}} =$				$\lambda_{\text{дсер}} =$				$\lambda_{\text{дсер}} =$			

Для розрахунків у роботі наведено віддаль  $L$  прилада і міжплощинні відстані:

$$L=63\text{см}; d_{111}=2,3384 \text{ \AA}; d_{200}=2,025 \text{ \AA}; d_{220}=1,432 \text{ \AA}; d_{311}=1,221 \text{ \AA}$$

При заповненні Таблиці 1 студенти самі визначаються з одиницями вимірювання фізичних величин.

Слід зауважити, що при виконанні етапів лабораторної роботи у студентів формується ряд загальних та професійних компетентностей: здатність працювати в команді; здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел; здатність застосовувати набуті знання в практичних ситуаціях; здатність використовувати систематизовані теоретичні та практичні знання з фізики, математики при вирішенні професійних завдань; володіння математичним апаратом фізики.

Для перевірки засвоєння пропонуються контрольні запитання:

1. Гіпотеза де Бройля та її дослідне підтвердження.
2. Принцип роботи електроннограма та його схема.
3. Чому хвильові властивості не проявляються в макросвіті?
4. Одержати формулу для залежності хвилі де Бройля від кінетичної енергії та напруги у релятивістському та нерелятивістському випадках
5. В чому полягає корпускулярно-хвильовий дуалізм мікрочастинок?

Лабораторна робота успішно впроваджена в навчальний процес майбутніх вчителів фізики у Сумському державному педагогічному університеті імені А.С. Макаренка. Вона входила до переліку лабораторних робіт з фізики атома та атомного ядра. На сьогодні вона є складовою спеціального фізичного практикуму з фізики мікросвіту.



## ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

При розробці та впровадженні у навчальний процес лабораторної роботи було реалізовано особистісно-орієнтований, діяльнісний та компетентнісний підходи. Зроблено акцент на таку організацію навчання, коли студент активно включений в процес, який передбачає аналіз запропонованих завдань, самостійний пошук розв'язку, узагальнення висновків. При цьому головна увага приділяється активній, різнобічній, продуктивній, максимально самостійній навчально-пізнавальній діяльності кожного студента, яка спрямована на формування загальних і предметних компетентностей майбутнього фахівця.

Розроблена лабораторна робота пропонується для виконання у лабораторному практикумі з квантової фізики. Крім цього її можна запропонувати як домашнє завдання на практичному занятті з теми «Корпускулярно-хвильовий дуалізм мікрочастинок. Гіпотеза де Бройля» або ж як елемент самостійної роботи студентів. У цьому випадку студенти отримують фотокопії електроннограм алюмінію та інформацію щодо характеристик електроннографа, на якому вони були отримані та виконують роботу самостійно за інструкцією. Метод контролю за виконанням обирає сам викладач.

## Список використаних джерел

1. Атамчук П. С. Управління процесом навчально-пізнавальної діяльності : монографія. Кам'янець-Подільський К-ПДП, ІВВ, 1997. 136 с.
2. Барановський В.М., Василівський С.Ю. Удосконалення методики проведення лабораторного фізичного практикуму з механіки за допомогою програмних продуктів. *Зб. наук. пр. Кам'янець-Поділ. держ. ун-ту*. Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Поділ. держ. ун-т, інформ.-вид. від. 2003. Вип.9. С.134-136
3. Величко С.П., Коршак Є.В. Концептуальні основи розвитку навчального фізичного експерименту в сучасній середній школі. *Наук.-метод. зб.: Методичні особливості викладання фізики на сучасному етапі*. Кіровоград: КДПУ. 1998. С. 4-10.
4. Вовкотруб В.П. Ергономічні чинники розвитку навчального фізичного експерименту. *Зб. наук. пр. Кам'янець-Поділ. держ. ун-ту*. Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Поділ. держ. ун-т, інформ.-вид. від. 2003. Вип.9. С.138-139.
5. Желюк О.М. Удосконалення навчального фізичного експерименту засобами сучасної електронної техніки: дис. .... канд. пед. наук 13.00.02. Рівне, 1996. 226 с.
6. Кучерук І. М., Горбачук І. Т. Загальний курс фізики: У 3 т.З ред. І.М. Кучерук. Київ: Техніка, 2006. Т.3. 518 с.
7. Подопригора Н.В. Психолого-педагогічні аспекти впровадження нових технологій до навчального фізичного експерименту. *Зб. наук. пр. Кам'янець-Поділ. держ. ун-ту*. Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Поділ. держ. ун-т., інформаційно-вид. відділ. 2004. Вип.10. С.155-158.
8. Салтикова А.І., Шкурдод Ю.О. Використання віртуальних робіт у лабораторному практикумі з фізики атомного ядра. *Шляхи вдосконалення позааудиторної роботи студентів: матеріали VI Міжвузівської методичної конференції* (Суми, 24 квітня 2012 р.). Суми: Вид-во СумДУ, 2012. с. 28-30.
9. Zavrazhna O. M., Odnodvoretz L. V., Pasko O. O., Saltykova A. I. Methodological Bases for Study Nanotechnology in the General Physics Course of Higher Educational Institutions. *Journal of Nano- and Electronic Physics*. 2017. Vol. 9, No 5. 05032(8pp).

## References

1. Atamanchuk P. S. (1997). *Upravlinnia protsesom navchalno-piznavalnoi diialnosti [Managing the process of primary and personal activity]*. Kam'ianets-Podilskyi [In Ukraine].
2. Baranovskyi V.M. & Vasylivskyi S.Iu. (2003). Udoshkonalennia metodyky provedennia laboratornoho fizychnoho praktykumu z mekhaniky za dopomohoiu prohramnykh produktiv [Adapt the methodology of conducting the laboratory physical practice to the mechanics for additional software products]. *Zbirnyk naukovykh prats Kamianets-Podilskoho derzhavnoho universytetu- Collection of scientific works of Kamianets-Podilsky State University*, (9), 134-136 [In Ukrainian].
3. Velychko S.P. & Korshak Ye.V. (1998). Kontseptualni osnovy rozvytku navchalnoho fizychnoho eksperymentu v suchasni serednii shkoli [Conceptual basis for the development of a physical physical experiment in a modern high school]. *Naukovo-metodychnyi zbirnyk: Metodychni osoblyvosti vykladannia fizyky na suchasnomu etapi - Scientific-methodical collection: Methodical features of teaching of physics at the present stage*, 4-10 [In Ukrainian].
4. Vovkotrub V.P. (2003). Erhonomichni chynnyky rozvytku navchalnoho fizychnoho eksperymentu [Ergonomic factors for the development of a physical physical experiment]. *Zbirnyk naukovykh prats Kamianets-Podilskoho derzhavnoho universytetu- Collection of scientific works of Kamianets-Podilsky State University*, (9), 138-139 [In Ukrainian].
5. Zheliuk O.M. (1996). Udoshkonalennia navchalnoho fizychnoho eksperymentu zasobamy suchasnoi elektronnoi tekhniky [Improvement of educational physical experiment by means of modern electronic equipment]: Candidate's thesis. Rivne [In Ukrainian].
6. Kucheruk I. M. (Ed.) & Horbachuk I. T. (2006). *Zahalnyi kurs fizyky [General course of physics]: (Vols. 1–3)*. Kyiv: Tekhnika [In Ukrainian].
7. Podopryhora N.V. (2004). Psykholoho-pedahohichni aspekty vprovadzhennia novykh tekhnolohii do navchalnoho fizychnoho eksperymentu [Psychological-pedagogical aspects of the introduction of new technologies to the educational physical experiment]. *Zbirnyk naukovykh prats Kamianets-Podilskoho derzhavnoho universytetu- Collection of scientific works of Kamianets-Podilsky State University*, (10), 155-158 [In Ukrainian].
8. Saltykova A.I. & Shkurdoda Yu.O. (2012). Vykorystannia virtualnykh robit u laboratornomu praktykumi z fizyky atomnoho yadra [Use of virtual works in a laboratory workshop on physics of the atomic nucleus]. *Proceedings of the Interuniversity methodological conference «Ways of improvement of non-auditing work of students»* (pp.28-30) Sumy [In Ukrainian].
9. Zavrazhna O. M., Odnodvoretz L. V., Pasko O. O. & Saltykova A. I. (2017). Methodological Bases for Study Nanotechnology in the General Physics Course of Higher Educational Institutions. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, (9), 5, 05032(8pp).

DEVELOPMENT AND METHODOLOGICAL SUPPORT OF LABORATORY WORK ON QUANTUM PHYSICS  
FOR THE DETERMINATION OF THE DE BROGLIE ELECTRON WAVELENGTH

A. Saltykova, O. Zavrzhna

Sumy State Pedagogical University named after A.S. Makarenko, Ukraine

Yu. Shkurdoda

Sumy State University, Ukraine

**Abstract.** An integral part of the physics course in higher education institutions is a laboratory workshop. Today the problem of its modernization is urgent. This is especially true of its structure, content and material support.

**Formulation of the problem.** When designing and introducing into the educational process new laboratory works, one needs to implement personally oriented, activity and competence approaches. The article proposes the development and methodological support of laboratory work on quantum physics "Determination of the de Broglie wavelength of the electron" taking into account these approaches.

**Materials and methods.** During laboratory work students have convinced of wave end particle duality of microparticles and determine the length of de Broglie wave of electrons. The emphasis was placed on such training organization during laboratory work, when the student was actively involved in the process, which includes an analysis of the proposed tasks, an independent search for a solution, and a synthesis of conclusions.

**Results.** When performing stages of laboratory work students develop a number of general and professional competencies: the ability to work in a team; the ability to search, process and analyze information from different sources; the ability to apply acquired knowledge in practical situations; the ability to use systematic theoretical and practical knowledge in physics, mathematics in solving professional problems; possession of a mathematical apparatus of physics.

**Conclusions.** Laboratory work can be included in a laboratory workshop on quantum physics. In addition, it can be offered as homework in a practical lesson on the topic "Corpuscular-wave dualism of microparticles. De Broglie hypothesis" or as an element of independent work of students.

**Keywords:** physics, laboratory work, students, de Broglie wavelength, electron.